

Klima-Rekonstruktionen der jüngsten Vergangenheit mit Korallen

Wolf-Christian Dullo

GEOMAR, Kiel

Die Diskussion über eine mögliche Rückkoppelung zwischen anthropogenen Aktivitäten und Veränderungen im Klima haben in der jüngsten Vergangenheit eine neue Dimension erhalten. Um die anthropogenen Einflüsse quantifizieren zu können, muss die natürliche Variabilität des Klimas bekannt sein. Für den tropischen Bereich sind die Korallen mit ihrer langen Lebensdauer von mehreren hundert Jahren die besten Archive, die es gilt auszuwerten.

Seit der Entdeckung der Wachstumsstreifen in Steinkorallen durch Knutson et al. (1972) ist bekannt, dass eine Reihe von wichtigen Spurenelementen während der Biomineralisation im Jahresgang in Abhängigkeit der saisonal sich ändernden Umweltbedingungen, d.h. in diesem Fall konkret des sich ändernden Meerwassers in unmittelbarer Umgebung, eingebaut werden (Pätzold, 1984).

Diese auf Korallen basierende paläoklimatische Untersuchung (Lough and Barnes, 1992) erstreckt sich vom Zeitpunkt der Beprobung über die letzten 200 - 500 Jahre, wobei eine zeitliche Auflösung in Monate oder noch kürzere Intervalle möglich ist; unter idealen Bedingungen konnten auch fast 1.000

Jahre erreicht werden (Pätzold & Wefer, 1992). Dabei wurden mit verschiedenen geochemischen und sclerochronologischen Parametern vor allem die Klimabedingungen zur Zeit der Ablagerung des Skelettaragonits rekonstruiert. Korallen bilden ihren Skelettaragonit mit einem deutlichem offset im Sauerstoffisotopensignal vom Gleichgewichtswert des Meerwassers, der aber unterhalb des Signifikanzlevels auf Gattungsebene konstant ist, zumindest für den rasch wachsenden Teil der Kolonie (McConnaughey, 1989). Daher stellt das im Korallenskelett gemessene $\delta^{18}\text{O}$ eine Kombination des $\delta^{18}\text{O}$ und der Temperatur des Meerwassers dar, wobei das $\delta^{18}\text{O}$ des Meerwassers durch Süßwassereintrag und Verdunstung erheblich verändert werden kann (Swart & Coleman, 1980; Cole & Fairbanks, 1990). Um diesem Konflikt auszuweichen wurde in der jüngeren Zeit auch das mittels Thermoionenmassenspektrometrie ermittelte Sr/Ca Verhältnis als Temperaturindikator herangezogen (Beck et al., 1992) und konnte mehrfach bestätigt werden (de Villiers et al., 1994, 1995), wobei auch die U/Ca Verhältnisse ebenso vielversprechend sind (Wishow et al., Heiss et al., 1997), (Fig. 1).

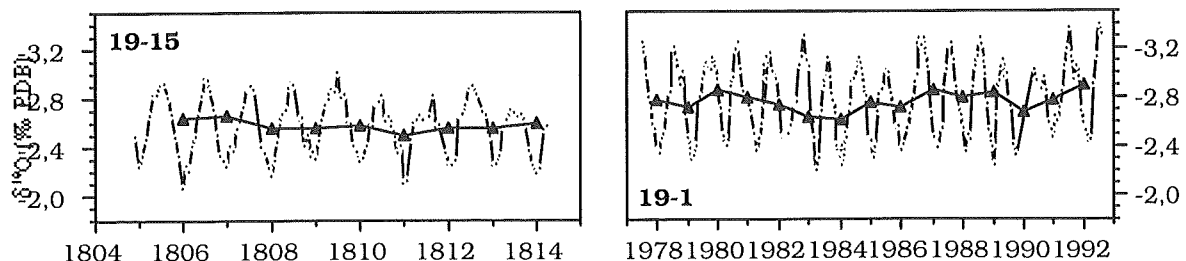


Fig. 1: Vergleich zwischen der SST, Sr/Ca und U/Ca Verhältnissen in *Porites* sp.

Die Zusammensetzung der stabilen Kohlenstoffisotope lässt Rückschlüsse auf die Produktivität der Koralle, gesteuert durch die Verfügbarkeit an Licht für die Zooxanthellen und damit auf Wolkenbedeckung zu (Swart, 1983, ein Überblick findet sich in: NOAA, 1993, Fairbanks et al., 1997). Die Bedeutung dieser Untersuchungen liegt darin, dass uns damit ein Instrument gegeben ist, präzise Aussagen über die Variabilität des Klimas über einen sehr langen Zeitraum mit hoher Auflösung zu machen und insbesondere für den Zeitraum weit vor der Einführung periodisch, exakter Messungen der Oberflächenwassertemperatur (Sea Surface Temperature = SST). Die Häufigkeit vorhandener Messungen ist einer starken Schwankung innerhalb dieses Jahrhunderts unterworfen und die Daten vor 1950 sind meist nur Lufttemperaturen. Zudem bedeutet der Übergang von der Bestimmungsmethode der SST im geschöpften Wasser aus Eimern zur Bestimmung der SST am Einstromstutzen des Kühlwasserkreislaufes der Schiffe in den 40er Jahren eine weitere Ungenauigkeit für die wenig vorhandenen Datensätze (Fair-

banks et al., 1997)

Die Untersuchung langer Korallenkerne in den verschiedensten Regionen der Erde zeigen Phänomene, wie die kleine Eiszeit und die davor liegende mittelalterliche Warmperiode (Pätzold & Wefer, 1992). Beispielsweise ist auch das Einsetzen der industriellen Verbrennung fossiler Energieträger im Korallenskelett gut dokumentiert (Hansen & Lebedeff, 1987). Die globale Erwärmung im letzten Jahrhundert wurde in mehreren Korallen bestätigt (Heiss, 1994; Winter et al., in prep.) (Fig. 2), wobei die Änderung im $\delta^{18}\text{O}$ -Signal nur gut zur Hälfte mit der angestiegenen SST erklärt werden kann. Dieser Zeitraum deckt sich weitgehend mit der stark zunehmenden anthropogenen Beeinflussung der atmosphärischen Zusammensetzung. Der Vergleich hochauflösender Datenreihen vom Top der langen Korallenkerne und von der Basis, zeigen dabei die interessante Tatsache, dass die Wintertemperaturen meist nur gering verändert sind, die Sommertemperaturen aber oft deutlich angestiegen sind und damit auch die Saisonalität sich stärker abbildet. (Fig. 2).

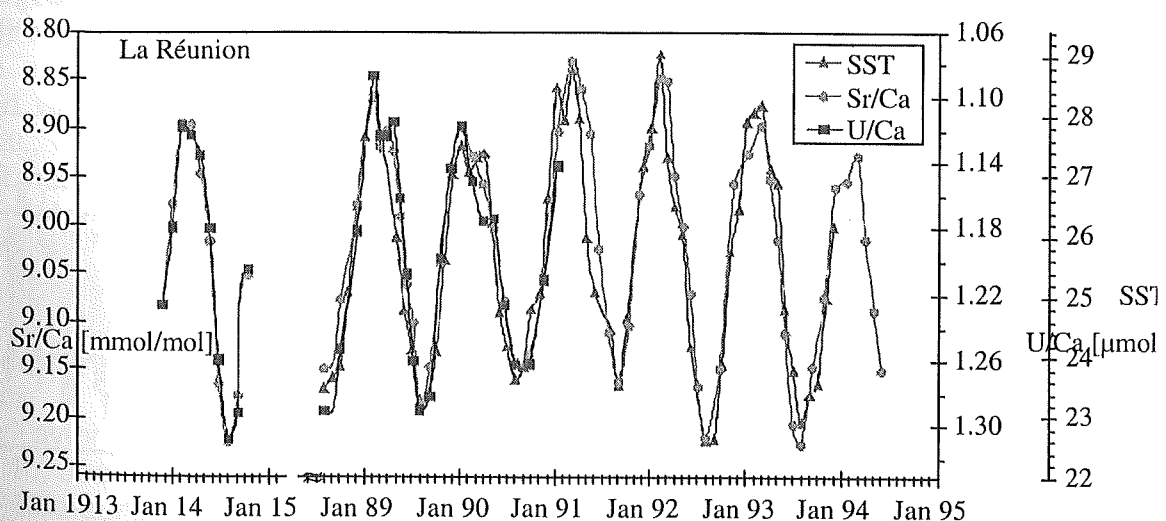


Fig. 2: Der saisonale Vergleich zwischen der Kernbasis und dem Top zeigt einen deutlichen Anstieg der Sommertemperaturen.

Allerdings kann hier auch die Evaporation möglicherweise durch ein geändertes Windregime verursacht, sich verstärkt auswirken und eine geänderte Temperatur vortäuschen (Heiss et al., eingereicht). Neben der Analyse der zeitlichen Variabilität und Änderung kommt auch dem regionalen und überregionalen Vergleich zusehends mehr Bedeutung zu. Die beobachteten Anomalien in der Meerwassertemperatur hin zu wärmeren Werten ist global nicht einheitlich. Besonders im Bereich des östlichen Pazifik wurden in den vergangenen Dekaden immer wieder deutlich erhöhte Werte registriert, während das Rote Meer, die Karibik und der westliche indische Ozean recht gut den globalen Trend widerspiegeln. Daneben gibt es aber auch Regionen, die selbst über lange Zeiträume keine Veränderung zeigen und diese sind erstaunlicherweise deckungsgleich mit jenen Bereichen der Weltmeere, die auch während der El-Niño-Jahre neutral bis leicht negative Anomalien aufweisen (NOAA www.ncdc.noaa.gov). Ein solches Gebiet ist beispielsweise der Kanal von Mosambik, in dem lange Korallenkerne keine sichtliche Erwärmung dokumentieren. (Fig. 3).

Die jüngsten Untersuchungen beziehen sich verstärkt auf rasche klimatische Veränderungen, wie z. B. das El Niño Southern Oscillation-Geschehen. Diese Schwankungen bilden sich in der sclerochronologischen und isotopeochemischen Variabilität des Korallenaragonits ab (Cole & Fairbanks, 1990; Cole et al., 1993; Dunbar et al., 1994; Linsley et al., 1994; Tudhope et al., 1995; Quinn et al., 1995; Charles et al., 1997), und es kann gezeigt werden, dass die typischen Rhythmen sich zwischen den unterschiedlichen Meeresbecken korrelieren lassen.

Neben dem ENSO-Phänomen, das sich besonders deutlich im Pazifik auswirkt, aber eine deutlich messbare Komponente auch im Indik besitzt (Joseph, 1990), ist das in seiner Intensität schwankende Monsun-Geschehen für die Modulation der Klimavariabilität von Bedeutung (Blatt, 1989). Ein sehr beeindruckendes Beispiel über die Monsun-Rhythmik in Korallen haben Klein et al. (1997) vorgelegt, indem sie eine *Porites* sp. aus dem südlichen Roten Meer untersuchten und den Einfluss des jährlichen NE Monsuns auf Grund des windgetriebenen Einstroms geringer salinarer Oberflächenwasser (ver-

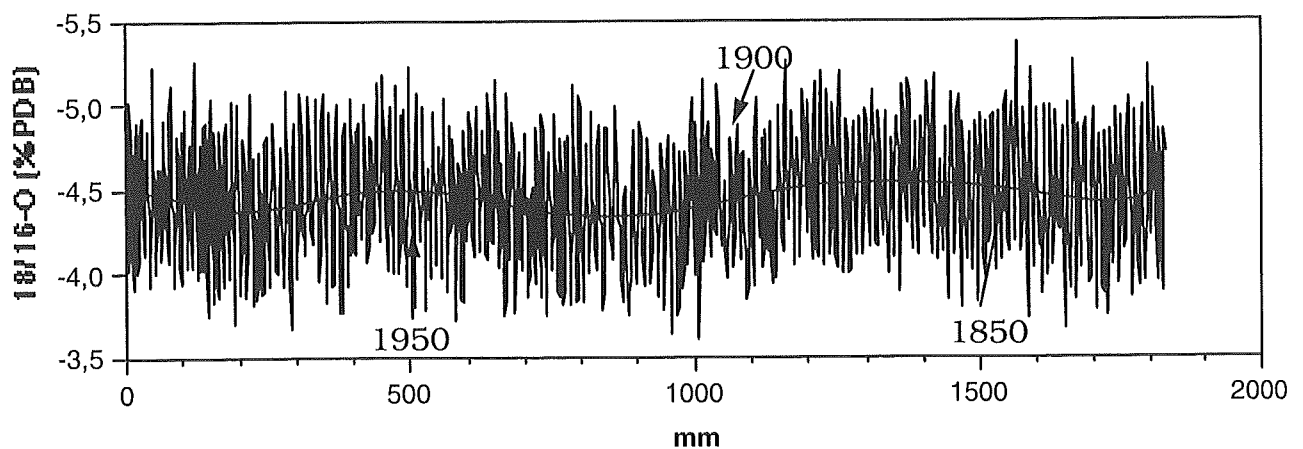


Fig. 3: Die Klimavariabilität in einem langen Korallenkern vor Madagaskar zeigt keinen deutlichen Trend zu erhöhten SST-Werten (eigene, unveröffentlichte Daten).

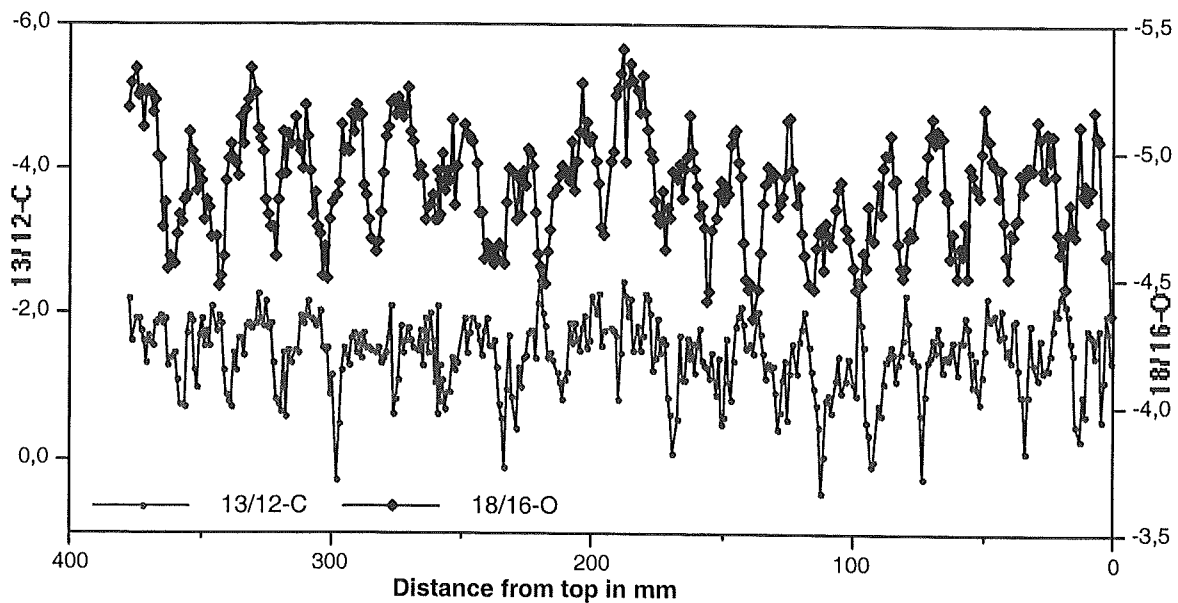


Fig. 4: Hochauflösende Isotopensignale aus einer 4.100 Jahre alten Koralle von den Seychellen. Deutlich ist der getreppte, monsuntypische Verlauf im Sauerstoffisotopensignal zu sehen (Dullo et al., subm).

ändertes $\delta^{18}\text{O}$ -Signal in Richtung leichter Werte) belegen konnten. Die Monsunsignatur zeigt sich auch in einem charakteristischen asymmetrischen Kurvenverlauf der Temperatur im Jahresgang. Analysen an Korallen aus Bohrkernen ermöglichen so eine Evaluation der Monsunintensität zumindest problemlos für das Holozän (Fig. 4). Darüber hinaus kann aber auch in Zeitfenstern die klimatische Variabilität mit monatlichen Datenpunkten analysiert werden (Beck et al., 1997, Dullo et al., in prep.), eine elegante Möglichkeit mit hoher Auflösung die Entwicklungstendenz über längere Zeitabschnitte zu verfolgen und zu rekonstruieren.

Literatur

- Beck, J. W., Edwards, R. L., Ito, E., Taylor, F. W., Recy, J., Rougerie, F., Joannot, P. & Henin, C. (1992). Sea-surface temperature from coral skeletal Strontium/Calcium ratios. *Science* **257**, 644 - 647.
- Beck, J. W., Recy, J., Taylor, F., Edwards, R. L. & Cabioch, G. (1997). Abrupt changes in early Holocene tropical sea surface temperature derived from coral records. *Nature* **385**, 705 - 707.
- Bhat, U. S. (1989). Circulation regimes of rainfall anomalies in the African - South Asian monsoon belt. *J. Climate* **2**, 1.133 - 1.144.
- Chakraborty, S. & R. Ramesh (1993). Monsoon-induced sea surface temperature changes recorded in Indian corals. *Terra Nova* **5**, 545 - 551.
- Charles, C. D.; Hunter, D. E. & Fairbanks, R. G. (1997). Interaction between the ENSO and the Asian monsoon in a coral record of tropical climate. *Science* **277** (5.328), 925 - 928.
- Cole, J. E. & Fairbanks, R. G. (1990). The Southern Oscillation recorded in the $\delta^{18}\text{O}$ of corals from Tarawa Atoll. *Paleoceanography* **5**, 669 - 683.

- Cole, J. E., Fairbanks, R. G. & Shen, G. T. (1993). Recent variability in the southern oscillation: isotopic results from a Tarawa atoll coral. *Science* **260**, 1.790 – 1.793.
- De Villiers S, Shen G. T. & Nelson B. K. (1994). The Sr/Ca-temperature relationship in coralline aragonite: Influence of variability in (Sr/Ca) seawater and skeletal growth parameters. *Geochim Cosmochim Acta* **58**, 197 – 208.
- De Villiers, S., Nelson, B. K. & Chivas, A. R. (1995). Biological Controls on Coral Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ Reconstructions of Sea Surface Temperatures. *Science* **269**, 1.247 – 1.249.
- Dunbar, R. B., Wellington, G. M., Colgan, M. W. & Glynn, P. W. (1994). Eastern Pacific sea surface temperature since 1.600 AD: The $\delta^{18}\text{O}$ record of climate variability in Galápagos corals. *Paleoceanography* **9**(2), 291 - 315.
- Dullo W-Chr., Heiss, G. A., Kienast, M., Camoin, G. F., Mangini, A. & Braithwaite, C. J. R. (in prep). Seasonal isotopic variation 4.000 years BP: High resolution data from a Holocene reef coral from La Digue (Seychelles, Indian Ocean). *Pal. Pal. Pal.*
- Fairbanks, R. G., Evans, M. N., Rubenstone, J. L., Mortlock, R. A., Broad, K., Moore, M. D. & Charles, C. D. (1997). Evaluating climatic indices and their geochemical proxies measured in corals. *Coral Reefs* **16** (suppl.), 93 - 100.
- Hansen, J. & Lebedeff, S. (1987). Global surface air temperatures: update through 1987. *Geophys. Res. Lett.* **15**(4), 232 - 379.
- Heiss, G. A. (1994). Coral reefs in the Red Sea: Growth, production and stable isotopes. *GEOMAR Report* **32**, 1 - 141.
- Heiss, G. A., Camoin, G. F., Eisenhauer, A., Wischow, D., Dullo, W.-Chr. & Hansen, B. (1997). Stable isotope and Sr/Ca signals in corals from the Indian Ocean.- Proc. 8th Int. Coral Reef Symposium, Panama, vol. II, 1.713 – 1.718.
- Heiss, G. A., Dullo, W.-Chr., Joachimski, M. M., Reijmer, J. J. G. & Schuhmacher: Increased seasonality in the gulf of Aqaba, Red Sea, recorded in the Oxygen Isotope Record of a *Porites lutea* coral. *Senckbg. maritima*. Submitted.
- Joseph, P. V. (1990). Warm pool over Indian Ocean and monsoon onset. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter* **53**, 1 - 5.
- Klein, R., Tudhope, A. W., Chilcote, C. P., Pätzold, J., Abdulkarim, Z., Fine, M., Fallick, A. E. & Loya, Y. (1997). Evaluating southern Red Sea corals as a proxy record for the Asian monsoon. *EPSL* **148**, 381 - 394.
- Knutson, D. W., Buddemeier, R. W. & Smith, S. V. (1972). Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. *Science* **177**, 270 - 272.
- Kropnick, P. (1980). The distribution of ^{13}C in the Atlantic Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.* **49**, 469.
- Linsley, B. K., Dunbar, R. B., Wellington, G. M. & Mucciarone, D. A. (1994). A coral-based reconstruction of intertropical convergence zone variability over Central America since 1707. *J. Geophys. Res.* **99**(C5), 9.977 – 9.994.
- Lough, J. M. & Barnes, D. J. (1992). Comparisons of skeletal density variations in *Porites* from the NOAA, 1993. Coral records of ocean-atmosphere variability: re-

- port from the workshop on coral paleoclimate reconstruction. NOAA Climate and Global Change Program Report No. X.
- McConnaughey, T. (1989). ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibrium in biological carbonates: II. in vitro simulation of kinetic isotope effects. *Geochim Cosmochim Acta* **53**, 163 – 171.
- NOAA (1993). Coral records of ocean-atmosphere variability: report from the workshop on coral paleoclimate reconstruction. NOAA Climate and Global Change Program Report No. X
- Pätzold, J. (1984). Growth rhythms recorded in stable isotopes, and density bands in the reef coral *Porites lobata* (Cebu, Philippines). *Coral Reefs* **3**, 87 - 89.
- Pätzold, J. & Wefer, G. (1992) Bermuda coral reef record of the last 1.000 years. Fourth International Conference on Pale-oceanography, Abstracts Kiel, 224 - 225.
- Quinn, T. M., Taylor, F. Q. & Crowley, T. J. (1993). A 173 year stable isotope record from a tropical South Pacific coral. *Quat. Sci. Rev.* **12**, 407 - 418.
- Swart, P. K. (1983). Carbon and oxygen isotope fractionation in scleractinian corals: a review. *Earth Sci. Rev.* **19**, 51 – 80.
- Swart, P. K. & Coleman, M. L. (1980). Isotopic data for scleractinian corals explain their paleotemperature uncertainties. *Nature* **283**, 557 - 559.
- Tudhope, A. W., Shimmield, G. B., Chilcott, C. P., Jebb, M., Fallick, A. E. & Dalgleish, A. N. (1995). Recent changes in climate in the far western equatorial Pacific and their relationship to the Southern Oscillation; oxygen isotope records from massive corals, Papua New Guinea. *EPSL* **136**, 575 - 590.
- Winter, A., Erlenkeuser, H., Zahn, R., Goenaga, C. & Maul, G. (in prep). A 270 year annual stable isotope record from the eastern Caribbean.
- Wischow, D., Eisenhauer, A., Kuhnert, H., Pätzold, J., Wefer, G., Hansen, B., Heiss, G. A. & Dullo W.-Chr. (1996). Sr/Ca and Stable Isotope Signals in Corals from the Indian Ocean, EOS, *Transactions* **77(46)**, 384.